

## ► Stardust : la bonne récolte

### Sources

"Mineralogy and Petrology of Comet 81P/Wild 2 Nucleus Samples"

M. Zolensky *et al.*

"Isotopic Compositions of Cometary Matter Returned by Stardust"

K. McKeegan *et al.*

"Organics Captured from Comet 81P/Wild 2 by the Stardust Spacecraft"

S. Sanford *et al.*

"Comet 81P/Wild 2 Under a Microscope"

D. Brownlee *et al.*

*Science*, 15 December 2006 :

Vol. 314, no. 5806.

### Notes

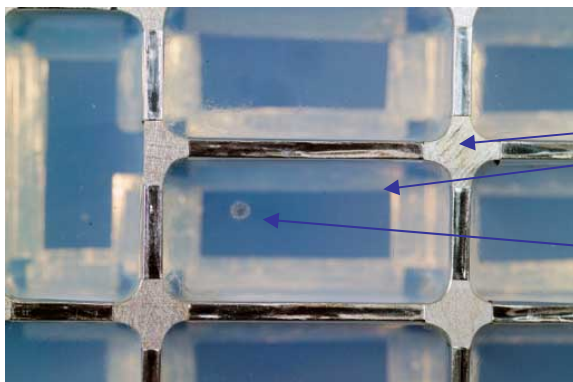
La mission spatiale **Stardust** a rapporté sur Terre de la matière solide provenant de la comète Wild 2 afin de soumettre à des analyses d'une précision jusqu'alors inégalée des échantillons d'une des matières les plus primitives du système solaire. Stardust est la première mission de retour d'échantillons extraterrestres depuis les missions Apollo et la mission Genesis. Cette mission de la NASA a été lancée le 7 février 1999 à partir de Cap Kennedy (Floride). Le 2 janvier 2004, la sonde est passée à 236 km du noyau de la comète Wild 2 avec une vitesse relative de 6,1 km/s.

A l'issue d'une mission de sept ans à travers notre système solaire, la sonde spatiale Stardust de la NASA, a rapporté sur Terre des échantillons de poussières de la [comète Wild 2](#) ainsi que des échantillons de poussières interstellaires. Lors du survol de Wild 2, le 2 janvier 2004, à une vitesse de 6,1 km/s, Stardust a capturé et piégé des poussières de la [coma](#) de la comète grâce à l'utilisation d'un "aérogel". La capsule a atterri le 15 janvier 2006 dans le désert de l'Utah. Des scientifiques regroupés dans des équipes thématiques (Preliminary Examination Teams, PET) ont effectué les analyses préliminaires. Un *consortium* de [cinq laboratoires français](#), piloté par François Robert (MNHM), participe à ces travaux. Les premiers résultats obtenus par l'ensemble des équipes thématiques paraissent dans quatre articles publiés dans la revue *Science* du 15 décembre 2006.

L'inventaire de la récolte de grains cométaires a été le premier travail mené au laboratoire de conservation d'échantillons planétaires situé au centre spatial Johnson à Houston. En première analyse, plus de mille grains d'une taille supérieure à 5 µm ont été récoltés dans l'aérogel. Le recensement des grains continue. Sur le collecteur, l'aérogel se présente sous forme de petits parallélogrammes de quelques centimètres de côté et épais de 1 ou de 3 centimètres. Ces petits blocs sont assemblés dans les mailles d'une « grille » d'aluminium qui donne à l'ensemble l'air d'une raquette de tennis. Les grains heurtent bien sûr indifféremment l'aérogel ou l'armature. L'aérogel a été examiné au microscope et les parties comportant la trace d'un grain ont été découpées, identifiées et certaines distribuées aux équipes des PET. Des parties de l'armature d'aluminium ont aussi été mises à la disposition des équipes.

### Typologie des grains

Quand un grain de poussière animé d'une vitesse supérieure à 6 km/s heurte l'armature, il creuse un petit cratère dont le diamètre est proportionnel à la taille du grain. L'analyse de ces cratères montre une prédominance importante de grains d'une taille inférieure à 3 microns. Parfois les cratères sont regroupés en amas. Les scientifiques ont aussi noté la persistance au fond de ces cratères de quelques résidus minéralogiques intéressants. Ces données sont pour l'instant les seules disponibles sur la fraction des grains les plus petits en taille mais les plus abondants en nombre.



Vue du collecteur lors de l'inventaire de la collecte :

Armature d'aluminium

Aérogel

Trace de grain cométaire

Crédit NASA

## ► Turbulences dans le jeune système solaire

### Notes

#### Wild 2

81P/Wild 2 est le nom de la comète, découverte par l'astronome suisse Paul Wild en 1978. Son diamètre est d'environ 5 km. Son passage en 1974 à proximité de la planète Jupiter a modifié son orbite et sa période orbitale est alors passée de 40 ans à environ 6,4 ans. [Consulter les photos de Wild 2 prises par la sonde Stardust.](#)

#### Comètes :

Petits corps du système solaire (1 à quelques dizaines de km de diamètre) riches en glaces et poussières, et dont l'orbite circumsolaire possède généralement une forte excentricité. Les comètes sont considérées comme les vestiges les mieux conservés de la matière protosolaire.

#### Coma

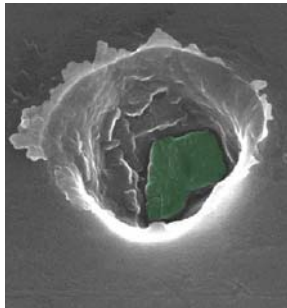
Enveloppe visible autour du noyau des comètes développée à l'approche du Soleil. Constituée de poussières et de gaz neutres, cette sphère a un diamètre de plusieurs centaines de milliers de kilomètres.

#### Aérogel

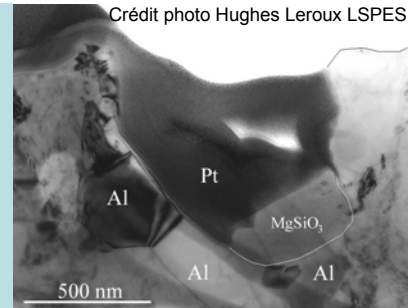
L'aérogel de Stardust est composé de silicates organisés en réseau très peu dense (98% de vide). C'est un excellent isolant thermique. Sa structure limite les dommages aux grains qu'il capture en vol à très grande vitesse. L'aérogel a été qualifié pour les expériences spatiales par le laboratoire du [Jet Propulsion Laboratory \(JPL\)](#).

#### Sub-micrométrique

D'une taille inférieure à 1 micron (un millionième de mètre).



Cratère observé sur une feuille d'aluminium en microscopie électronique à balayage (à gauche) et en coupe en microscopie électronique à transmission (à droite). Le résidu d'enstatite ( $MgSiO_3$ ) est teinté en vert sur l'image de gauche.



Crédit photo Hughes Leroux LSPES

#### Nature de la matière organique

Deux gros grains, piégés dans l'aérogel, ont été analysés par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier et spectroscopie Raman. Ces études servent à différencier le carbone minéral du carbone organique. Elles contribuent également à détecter les grandes familles de molécules organiques (linéaires, cycliques, ramifiées, ...). La longueur moyenne des chaînes de carbones organiques a été évaluée en mesurant le rapport entre les carbones portant deux atomes d'hydrogène et ceux en portant trois ( $CH_2/CH_3$ ). Ces résultats préliminaires montrent une composition proche des poussières interplanétaires et confirment la nature primitive de la matière organique de la comète. Toutefois, au cours de ces travaux de spectroscopie, quelques contaminants issus de l'aérogel ont été détectés et leur présence devra être prise en compte lors des études ultérieures.

#### Minéralogie des grains

Les études minéralogiques des grains par microscopie électronique en transmission démontrent qu'une partie de ceux-ci a été endommagée par l'échauffement durant la capture dans l'aérogel. Les grains intacts sont constitués de minéraux bien cristallisés composés de silicates (olivine, pyroxène), de spinelles d'aluminium et de sulfures. Leurs microstructures montrent qu'ils ont été portés à haute température. Cette analyse minéralogique suggère un important mélange de la matière primitive dans le disque d'accrétion protoplanétaire, entraînant des échanges entre les zones internes et les zones les plus externes du système solaire en formation.

#### Pétrographie des grains

Les analyses chimiques révèlent que la comète est un assemblage de grains très hétérogènes. La comparaison des teneurs en oxygène et en hydrogène (degrés redox) le long de la trace laissée dans l'aérogel ainsi que la minéralogie montrent une altération progressive des grains lors de leur capture.

Afin de déterminer la composition isotopique en carbone et en azote des grains, des fragments [sub-micrométriques](#) ont été prélevés dans la zone de leur entrée dans l'aérogel. L'analyse montre essentiellement des compositions isotopiques « solaires », identiques à celles des météorites carbonées, avec quelques rares constituants volatils rappelant le milieu interstellaire.

La composition isotopique en oxygène des grains de la comète Wild 2 est similaire à celle observée dans les [chondrites](#) carbonées. Cependant, la part de la contamination des grains par l'oxygène de l'air ambiant et de l'aérogel devra être examinée.

## ► Grains de chez nous

### Notes

#### Chondrite

Météorite primitive pierreuse non différenciée, jamais fondue. Les chondrites sont classées en plusieurs groupes sur la base de l'état d'oxydation du fer présent et de leurs conditions de métamorphisme.

### Contact chercheur

**François ROBERT**

Muséum National Histoire Naturelle

USM 205 LEME - UMS CNRS  
2679 NanoAnalyses  
Case Postale 52  
57 rue Cuvier  
75005 Paris  
[robert@mnhn.fr](mailto:robert@mnhn.fr)

### + sur Stardust

[Site de la NASA](#)

### + sur le CNES

[Site Internet du CNES](#)

[Site Internet missions scientifiques](#)

L'analyse des fragments de l'aérogel comportant des traces d'entrée de particules cométaires, détecte la présence d'hélium et de néon avec une composition isotopique intermédiaire entre les compositions terrestre et solaire. Ces premières études des gaz rares d'origine cométaire démontrent que des éléments volatils ont survécu à la capture des grains de Wild 2.

Les études effectuées au sein des « PET » et publiées dans le numéro de Science du 15 décembre 2006, montrent d'une part que la matière solide de Wild 2 a été formée dans notre système solaire et n'est pas de la matière interstellaire primitive et d'autre part que ces poussières cométaires contiennent des minéraux formés très près du Soleil indiquant un important mélange entre les zones internes et externes du disque proto-planétaire.

#### Laboratoires français impliqués dans les analyses préliminaires :

- [Le Laboratoire de Structure et Propriétés de l'Etat Solide](#), UMR CNRS à l'Université des Sciences et Technologies de Lille (LSPES) a étudié par microscopie électronique et par transmission la minéralogie des grains de Wild 2. Contact chercheur : [Hugues Leroux](#).
- L'équipe conjointe de [l'Institut d'Astrophysique Spatiale](#) (IAS) et du LSPES, a dans le cadre du PET « Feuilles d'aluminium », analysé par spectroscopie infrarouge et Raman les grains collectés. Contact chercheurs : [Louis d'Hendecourt](#), [Janet Borg](#) et [Zahia Djouadi](#).
- L'équipe conjointe du [Laboratoire des Sciences de la Terre](#), (LST, ENS Lyon) et de l'IAS, a mis au point, dans le cadre du PET « Composition chimique totale » des techniques de microfaisceau X, développées sur les lignes ID21/ID22 du Synchrotron Européen de Grenoble (ESRF) pour mesurer in-situ et de manière non-destructive, la pétrologie et la minéralogie des grains. Contact chercheurs : [Philippe Gillet](#), [Laurence Lemelle](#) et [Alexandre Simionovici](#).
- Au [Laboratoire d'Etude de la Matière Extraterrestre](#), CNRS - Muséum National d'Histoire Naturelle Paris (LEME), la sonde ionique NanoSims a cartographié la composition isotopique en carbone et en azote des grains. Contact chercheurs : [Anders Meibom](#), [Matthieu Gounelle](#) et [Smail Mostefaoui](#).
- Au [Centre de Recherches Pétrologiques & Géochimiques à Nancy](#), UPR 2300 du CNRS (CRPG), les compositions isotopiques en oxygène ont été mesurées par la sonde ionique 1270 et les teneurs en gaz rares ont été analysées par extraction laser et spectrométrie de masse statique dans des fragments d'aérogel. Contact chercheurs : [Marc Chaussidon](#) et [Bernard Marty](#).

E-Space&Science vous informe des résultats des expériences scientifiques soutenues par le CNES

Directeur de la publication: **Yannick d'Escatha** ■ Directeur de la rédaction: **Pierre Tréfouret** ■ Rédacteur en chef: **Michel Viso** ■ Rédactrice: **Myriana LOZACH** ■  
Diffusion du magazine: **INIST diffusion** ■

#### Abonnement

Vous voulez vous abonner à la version française; envoyez un mail sans objet ni contenu à :

[Abonnement version Française](#)

Vous voulez vous abonner à la version anglaise; envoyer un mail sans objet ni contenu à :

[Abonnement version Anglaise](#)

#### Désabonnement

Vous voulez vous désabonner de la version française; envoyez un mail sans objet ni contenu à :

[Désabonnement version Française](#)

Vous voulez vous désabonner de la version anglaise; envoyez un mail sans objet ni contenu à :

[Désabonnement version Anglaise](#)